

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-023187

(43)Date of publication of application : 21.01.1997

(51)Int.Cl.

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 07-173114

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 10.07.1995

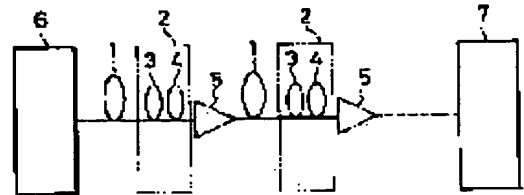
(72)Inventor : ONAKA HIROSHI  
MIYATA HIDEYUKI  
OTSUKA KAZUE

## (54) OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To compensate wavelength dispersion in a wide range and to attain high speed and large capacity communication by compensating primary and secondary dispersion generated in an optical fiber transmission line by plural dispersion compensators.

SOLUTION: When a dispersion shift fiber(DSF) is an optical fiber transmission line 1, a negative dispersion value for suppressing the deterioration of transmission characteristics by four optical wave mixing between signal light and naturally radiated optical noise generated from an optical amplifier 5 is transmitted. Thereby a dispersion compensator 2 having a positive code and a large absolute value is required for the compensation of dispersion of the transmission line 1. When the compensator 2 is constituted of an optical fiber, an 1.3 $\mu$ m band zero dispersion single mode fiber(SMF) can be used and low loss and low cost can be attained. Since the SMF has a dispersion value corresponding to about 10 times the primary dispersion value of the line 1, the primary dispersion value of the line 1 can be compensated by adding a distance corresponding to about 1/10 of a transmission distance as a 1st compensator 3 or laying it as a part of the line 1. A 2nd compensator 4 having a reverse code against the DSF secondary dispersion of the line 1 and a large absolute value compensates a secondary dispersion value similarly to the primary dispersion value.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 31.05.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-12279

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 30.06.2005

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-23187

(43) 公開日 平成9年(1997) 1月21日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

H 0 4 B 10/02  
10/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 4 B 9/00

技術表示箇所

M

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平7-173114

(22) 出願日 平成7年(1995) 7月10日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 尾中 寛

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 宮田 英之

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 大塚 和恵

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 柏谷 昭司 (外1名)

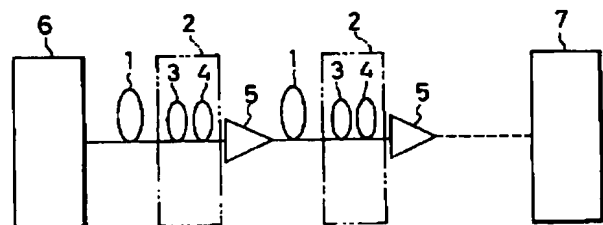
(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【要約】

【目的】 光ファイバ伝送路の波長分散を補償した光伝送システムに関し、光ファイバ伝送路の1次分散と2次分散とを補償して長距離伝送を可能とする。

【構成】 送信部6と受信部7との間の光ファイバ伝送路1の1次分散と逆符号の1次分散を有し、且つ光ファイバ伝送路1の2次分散と逆符号の2次分散を有し、光ファイバ伝送路1の累積分散値を補償する分散補償2を設ける。又分散補償器2を、光ファイバ伝送路1の主として1次分散を補償する第1分散補償器3と、光ファイバ伝送路1の主として2次分散を補償する第2分散補償器4とにより構成することができる。

本発明の実施例の説明図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路の 1 次分散と逆符号の 1 次分散を有し、且つ該光ファイバ伝送路の 2 次分散と逆符号の 2 次分散を有する分散補償器とを縦続接続した構成を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】 光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路の 1 次分散と逆符号の 1 次分散を有し、且つ該光ファイバ伝送路の 2 次分散と同一符号又は逆符号の 2 次分散を有する第 1 の分散補償器と、該光ファイバ伝送路の前記 2 次分散と逆符号の 2 次分散を有し、且つ該光ファイバ伝送路の前記 1 次分散と同一符号又は逆符号の 1 次分散を有する第 2 の分散補償器とを、縦続接続した構成を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 3】 前記光ファイバ伝送路の信号波長帯域内若しくはその近傍の異なる波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  に対して予め設定した残留分散値  $D_1$ 、 $D_2$  と、前記第 1、第 2 の分散補償器の累積分散値及び 2 次分散値とについて、

(設計波長での伝送路累積分散値) + (設計波長での第 1 分散補償器の累積分散値) + (設計波長での第 2 分散補償器の累積分散値) =  $D_1$

(伝送路の 2 次分散値  $\times$  伝送路長) + (第 1 分散補償器の 2 次分散値) + (第 2 分散補償器の 2 次分散値) =  $D_2 / (\lambda_1 - \lambda_2)$

の条件を満足するように、前記第 1、第 2 の分散補償器の累積分散値及び 2 次分散値を設定することを特徴とする請求項 2 記載の光伝送システム。

【請求項 4】 前記第 1、第 2 の分散補償器を光ファイバにより構成し、該第 1、第 2 の分散補償ファイバの長さを  $L_{1stDCF}$ 、 $L_{2ndDCF}$ 、前記光ファイバ伝送路の長さを  $L_{Trans}$ 、該光ファイバ伝送路の 2 次分散値を  $S_{Trans}$ 、前記第 1 分散補償ファイバの 2 次分散値を  $S_{1stDCF}$ 、前記第 2 分散補償ファイバの 2 次分散値を  $S_{2ndDCF}$ 、前記光ファイバ伝送路の 1 次分散値を  $D_{Trans}$ 、前記第 1、第 2 の分散補償ファイバの 1 次分散値を  $D_{1stDCF}$ 、 $D_{2ndDCF}$ 、波長  $\lambda_1$  での残留分散値を  $D_1$ 、波長  $\lambda_2$  での残留分散値を  $D_2$ 、波長  $\lambda_1$  と波長  $\lambda_2$  との差分の波長帯域を  $B_{WDM}$ 、全長を  $L_{TOTAL}$  とし、

$L_{Trans} + L_{1stDCF} + L_{2ndDCF} = L_{TOTAL}$   
 $(D_{Trans} \times L_{Trans}) + (D_{1stDCF} \times L_{1stDCF}) + (D_{2ndDCF} \times L_{2ndDCF}) = D_1$

$B_{WDM} [(S_{Trans} \times L_{Trans}) + (S_{1stDCF} \times L_{1stDCF}) + (S_{2ndDCF} \times L_{2ndDCF})] = D_2$

の条件を満足するように、前記第 1、第 2 の分散補償ファイバの長さ  $L_{1stDCF}$ 、 $L_{2ndDCF}$  と、1 次分散値  $D_{1stDCF}$ 、 $D_{2ndDCF}$  と、2 次分散値  $D_{1stDCF}$ 、 $D_{2ndDCF}$  とを設定したことを特徴とする請求項 2 記載の光伝送システム。

【請求項 5】 前記光ファイバ伝送路に分散して接続し

た光増幅器間に、前記第 1、第 2 の分散補償器を接続したことを特徴とする請求項 2 乃至 4 の何れか 1 項記載の光伝送システム。

【請求項 6】 分散値の符号が負の前記光ファイバ伝送路と、複数の波長を多重化した光信号の前記光ファイバ伝送路及び前記第 1、第 2 の分散補償器による累積分散値が、正の符号とならないように、長さ及び分散値を設定したことを特徴とする請求項 2 乃至 5 項の何れか 1 項記載の光伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光ファイバ伝送路の分散補償を行って長距離伝送を可能とする光伝送システムに関する。光増幅器として、エルビウム (Er) 添加光ファイバ増幅器が開発され、光伝送システムへの適用が検討されている。このような光増幅器は、中継伝送方式の線形中継器、送信部の送信出力を増大させるブースタ増幅器或いは受信部の受信感度を向上させる前置増幅器等に適用することができる。特に、線形中継器として光増幅器を用いると、再生中継器に於いて必要とする超高速電子回路が不要となるから、構成が簡単且つ小型となる。

【0002】 しかし、光増幅器を用いた線形中継器を光伝送路に接続した中継伝送方式に於いては、各線形中継器で発生する雑音と、光伝送路を構成する光ファイバの非線形効果とが累積し、伝送容量や伝送距離に制限が生じる問題がある。即ち、最大伝送距離と光パワーレベルダイアグラム及び中継器間隔等の関数として許容される最大伝送速度が決定される。注意深く設計された光伝送システムに於いては、例えば、5 Gb/s の伝送速度で、1000 km 程度の最大伝送距離が得られることが知られている。このように、光増幅器の適用は、光パワーの増大と線形中継距離の拡大とをもたらすが、光増幅器で発生する雑音と光ファイバの波長分散及び非線形効果の累積が新たな技術的課題となっている。

## 【0003】

【従来の技術】 波長分散は、光パルスの伝播速度が光の波長 (周波数) に依存する現象である。高速に変調された光パルスは、周波数領域では広いスペクトラムを持つことになり、このような光パルスが光ファイバ中を伝播すると、光ファイバの波長分散の影響によりスペクトラム中の短波長成分と長波長成分との伝播速度が相違し、光パルスの波形が変化する。このような波長分散の影響を軽減する為に、光ファイバの分散値がほぼ零となる波長に光信号波長を設定すれば良いことが知られている。

【0004】 現在、一般的には、1.3  $\mu$ m 帯零分散シングルモードファイバ (以下 SMF と略称する) が多く敷設されており、1.3  $\mu$ m 帯の光源を使用した光通信システムが実用化されている。又前述のエルビウム添加光ファイバ増幅器 (以下 EDFA と略称する) の増幅帯

域は、 $1.5\mu\text{m}$ 帯であり、信号波長をこの波長帯域としてSMFとEDFAとを組合せた光伝送システムにより光信号を伝送する場合、SMFは、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で $+18\text{ps/nm/km}$ 程度の大きな分散を有するものである。従って、SMF中を数Gb/s程度以上の伝送速度で光信号を伝送する場合に、波長分散を補償する技術が必要となる。

【0005】又大陸横断等の超長距離光伝送システムに於いては、EDFAの増幅光帯域の $1.5\mu\text{m}$ 帯に零分散波長をシフトした分散シフトファイバ（以下DSFと略称する）を用いられている。しかし、このような超長距離光伝送システムに於いて、零分散波長近傍に信号波長を設定すると、EDFA等の光増幅器から発生する自然放出光雑音と信号光との間の非線形効果（四光波混合）により、伝送品質を劣化させる問題がある。

【0006】このような問題は、光ファイバの長手方向の分散値を管理することにより回避できる。即ち、信号光近傍の自然放出光雑音の光ファイバの非線形効果による劣化は、光ファイバの分散値を大きくすることにより回避でき、又分散による光パルスの波形の変化は、光パルスのパワーが小さい場合には、線形に累積して影響を受ける。

【0007】そこで、図10に示すように、光信号送信部OSと光信号受信部ORとの間の光伝送路を、分散シフトファイバDCFとエルビウム添加光ファイバ増幅器EDFAとにより構成すると共に、DCFの累積分散値と逆符号の分散値を有するSMFを分散補償器として接続し、分散値 $[\text{ps/nm}]$ の曲線で示すように、平均分散を零とする構成が知られている（例えば、文献(1) A. Naks and S. Saito, OAA' 93 SuC3-1, 1993, 参照）。このような波長分散管理の手段を設けることにより、分散による波形劣化及び四光波混合に起因する波形劣化を改善することができる。

【0008】又超長距離光伝送システムに於ける分散補償器間隔は、最適間隔が存在するものである。図11は伝送距離と分散補償器間隔との関係説明図であり、アイパターンペナルティを1dB、群遅延補償を100%、光増幅器のノイズフィギュア(NF)を6dB、光ファイバ伝送路の分散値をパラメータとして、伝送距離 $[\text{km}]$ と分散補償器の間隔 $[\text{km}]$ との関係を示すものであり、光伝送路の分散値が、 $-10.0\text{ps/nm/km}$ 、 $-1.0\text{ps/nm/km}$ 、 $-0.1\text{ps/nm/km}$ の場合について示している。例えば、光ファイバ伝送路の分散値を $-1.0\text{ps/nm/km}$ とすると、最適分散補償器間隔は、 $500\text{km}$ 程度であり、この場合、 $9000\text{km}$ 程度の伝送可能距離となる（例えば、文献(2) 斉藤、信学技報 OCS94-26, 1994, 参照）。

【0009】この分散補償器の間隔は、最適の間隔より短くても長くても伝送可能の距離は短くなる。これは、

分散補償器間隔を短くすると、分散補償器による零分散に戻る頻度が高くなる為に、光増幅器による自然放出光雑音と光信号との間の四光波混合に起因する伝送劣化が顕著になり、反対に、分散補償器間隔を長くすると、光信号の自己位相変調効果に起因する光パルスの立上り、立下りに於ける光周波数変化（周波数チャープ）と分散との相互作用による波形劣化が発生し、伝送品質を劣化させることによるものである。

【0010】なお、分散補償器としては、①グレーティングを用いた構成、②光干渉計を用いた構成、③光ファイバを用いた分散補償器は、制御回路等が必要でなく、受動的な動作が可能であること、使用波長帯域が他の構成の分散補償器に比較して極めて広いこと等によって、最も実用性が高いと考えられている。

【0011】図12は分散特性説明図であり、横軸を波長 $[\text{nm}]$ とし、縦軸を分散値 $[\text{ps/nm}\cdot\text{km}]$ として示し、aは波長 $1300\text{nm}$ に於いて零分散となるSMF、bは波長 $1540\text{nm}$ に零分散シフトを行ったDSFを示す（例えば、文献(3) S. E. Millie, I. P. Kaminow "OPTICAL FIBER TELECOMMUNICATIONS II" Academic Press, 1988, p35参照）。この場合、SMFもDSFも、零分散波長近傍で、ほぼ $0.08\text{ps/nm/km}$ 程度の分散値を有するものであるが、波長毎に分散値が異なるから、波長多重伝送に於いて問題となる。

【0012】例えば、 $9000\text{km}$ 程度の伝送距離の場合、DSFと分散補償器としてのSMFとにより構成し、それぞれの分散スロープ（分散値の微分値＝2次分散値）が共に $0.08\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、最長波長と最短波長との波長間隔を $5\text{nm}$ とすると、最長波長の光信号と最短波長の光信号との間には、 $5[\text{nm}] \times 0.08[\text{ps/nm}^2/\text{km}] \times 9000[\text{km}] = 3600[\text{ps/nm}]$ 程度の波長分散の差が生じることになる。即ち、最長波長と最短波長との光信号間では、累積分散値が $3600\text{ps/nm}$ 異なることになる。

【0013】又前述の図11に於いて、光ファイバ伝送路の分散が $-1\text{ps/nm/km}$ の場合、 $9000\text{km}$ 程度の伝送を行う為には、最適分散補償器間隔は $500\text{km}$ 程度であることが示されている。即ち、累積分散値が $-500\text{ps/nm}$ となった位置で分散補償を行うことを示している。

【0014】しかし、波長多重伝送に於いては、光ファイバの分散スロープの影響により総ての光信号波長に対して分散補償を行うことが不可能である。例えば、前述の場合のように、最長波長に対して分散補償を最適化すると、その最長波長の光信号に対しては完全に分散補償が可能であっても、最短波長の光信号に対しては $360$

0 ps/nm程度の累積分散が発生することになり、伝送距離を長くすることができない。

【0015】図13は従来例の分散補償説明図であり、横軸を距離[km]、縦軸を分散値[ps/nm]とし、伝送距離5000kmの光伝送システムに於いて1000km毎に分散補償を行った場合を示し、DSFによる光ファイバ伝送路の分散値(1次分散値)を $-2\text{ ps/nm/km}$ 、DSFの分散スロープ(2次分散値)を $0.07\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、SMFによる分散補償器の分散値(1次分散値)を $+18\text{ ps/nm/km}$ 、分散スロープ(2次分散値)を $0.07\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ とした場合の例を示している。

【0016】設計波長( $\Delta\lambda=0\text{ nm}$ )に対しては、点線で示すように、900kmのDSFの累積分散値( $900\text{ km}\times-2\text{ ps/nm/km}=-1800\text{ ps/nm}$ )を100kmのSMFの累積分散値( $100\text{ km}\times18\text{ ps/nm/km}=1800\text{ ps/nm}$ )によって補償し、合計で1区間1000km毎に分散値を零とすることができるが、5nm離れた波長( $\Delta\lambda=-5\text{ nm}$ )に対しては、実線で示すように、分散スロープの影響によって5000km先の受信器端では $-1750\text{ ps/nm}$ の分散補償誤差( $-5\text{ nm}\times0.07\text{ ps/nm}^2/\text{km}\times5000\text{ km}=-1750\text{ ps/nm}$ )が生じることが判る。

【0017】そこで、光信号波長間の累積分散値の差を小さくする為に、波長間隔を狭くすることが考えられるが、波長間隔を狭くすると、光信号間での四光波混合等が顕著となって、伝送特性が劣化する問題が生じる。

【0018】このような問題を回避する為に、波長毎に分散補償を行う提案されている。例えば、図14に示すように、信号光源531~535からの波長 $\lambda_1\sim\lambda_5$ の光信号は、光ファイバ521~525からなる分散補償器52を介して合波器54により合波され、波長多重光信号として光ファイバ伝送路51により伝送され、分波器55により波長 $\lambda_1\sim\lambda_5$ に分波され、それぞれ光検出器561~565により検出される。即ち、光信号の送信側に於いて、波長 $\lambda_1\sim\lambda_5$ 対応に光ファイバ521~525により分散補償を行う場合を示す(例えば、文献(5) 特開昭62-18131号公報参照)。

【0019】又図15に示すように、アレイ導波路型分波器61により波長対応に分波し、波長対応のアレイ導波路型光遅延線63により累積分散値が零となるように補償し、アレイ導波路型合波器62により合波して送出する構成が知られている(例えば、文献(6) 特開平5-346515号公報参照)。

【0020】図16は従来例の過剰補償による分散補償説明図であり、図14に於ける光信号の送信側のように、予め分散補償を施す場合を示す。この場合、図13と同様に、設計波長( $\Delta\lambda=0\text{ nm}$ )に於いて1000km毎に累積分散値を零とするように分散補償するもの

であるが、設計波長から5nm離れた波長( $\Delta\lambda=5\text{ nm}$ )に対しては、送信部で予め $1750\text{ ps/nm}$ 分の分散補償を与えている。その結果、設計波長( $\Delta\lambda=0\text{ nm}$ )でも又5nm離れた波長( $\Delta\lambda=5\text{ nm}$ )でも、累積分散値を零とすることが可能となる。

【0021】又前述の伝送距離が9000kmの光伝送システムに於いても、前述のように、設計波長から5nm離れた波長に対して、送信側で $5\text{ [nm]}\times0.08\text{ [ps/nm}^2/\text{km}]\times9000\text{ [km]}=3600\text{ [ps/nm]}$ 分の分散を予め与えておけば、受信側に於いて累積分散値を零とすることができる。又受信側に於ける後置補償を併用し、送信側と受信側とに於いて半分宛補償を行う場合には、 $1800\text{ ps/nm}$ の分散を送信側に於いて与え、受信側で $1800\text{ ps/nm}$ の分散を与えれば良いことになる。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】超長距離の光伝送システムに於いては、光ファイバの波長分散及び非線形効果の累積が問題となり、前述のように、従来例に於いても分散補償等が提案されている。例えば、図14又は図16について説明したように、送信側で予め分散補償を行う場合、過剰な分散を与えることとなるから、大きく歪んだ波形の光信号を送送する問題が生じる。又前述のように、距離が9000km程度の光伝送システムに於いて、累積分散値が $-500\text{ ps/nm}$ 程度以内に分散補償を行う必要があるが、これを満足させることができない。更に、過剰な分散補償により、伝送路の前半部分では異常分散領域(分散値が正)を伝送することになる。これらのことは、光ファイバ中の種々の非線形効果の影響によって伝送特性を劣化させる要因となる。従って、超長距離の波長多重伝送に於いては、送信部と受信部との何れか一方又は両方に於ける分散補償では、全波長に対する累積分散値を所定の値にすることができない問題がある。

【0023】又波長多重伝送に於いて、光中継器の中で波長分離した後、各波長毎に分散補償を行う例えば図15に示すような手段に於いては、数10~数100km程度の間隔に配置された光増幅中継器の中で、2次分散を補償することが可能であるから、総ての波長に対して累積分散値を $-500\text{ ps/nm}$ 以内となるように補償することが可能となる。しかし、狭い間隔で多重化した波長多重光信号の分波及び合波には、光導波路等を用いた精密な光回路が必要となり、非常に高価な構成となって実用的でない問題がある。本発明は、光ファイバ伝送路の1次分散及び2次分散を簡単な構成で補償し、光信号の長距離伝送を可能とすることを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明の光伝送システムは、(1)光ファイバ伝送路1と、この光ファイバ伝送路の1次分散と逆符号の1次分散を有し、且つこの光フ

ファイバ伝送路の2次分散と逆符号の2次分散を有する分散補償器2とを縦続接続した構成を有する。

【0025】(2) 又光ファイバ伝送路1と、この光ファイバ伝送路の1次分散と逆符号の1次分散を有し、且つこの光ファイバ伝送路1の2次分散と同一符号又は逆符号の2次分散を有する第1の分散補償器3と、光ファイバ伝送路1の2次分散と逆符号の2次分散を有し、且つ光ファイバ伝送路1の1次分散と同一符号又は逆符号の1次分散を有する第2の分散補償器4とを、縦続接続した構成を有する。

【0026】(3) 又光ファイバ伝送路1の信号波長帯域内若しくはその近傍の異なる波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ に対して予め設定した残留分散値 $D_1$ 、 $D_2$ と、第1、第2の分散補償器3、4の累積分散値及び2次分散値とについて、

(設計波長での伝送路累積分散値) + (設計波長での第1分散補償器の累積分散値) + (設計波長での第2分散補償器の累積分散値) =  $D_1$  (波長 $\lambda_1$ の残留分散値)

(伝送路の2次分散値 $\times$ 伝送路長) + (第1分散補償器の2次分散値) + (第2分散補償器の2次分散値) =  $D_2$  (波長 $\lambda_2$ の残留分散値)  $\div (\lambda_1 - \lambda_2)$

の条件を満足するように、前記第1、第2の分散補償器3、4の累積分散値及び2次分散値を設定するものである。

【0027】(4) 又第1、第2の分散補償器3、4を光ファイバにより構成し、これらの第1、第2の分散補償ファイバの長さを $L_{1stDCF}$ 、 $L_{2ndDCF}$ 、光ファイバ伝送路1の長さを $L_{Trans}$ 、この光ファイバ伝送路1の2次分散値を $S_{Trans}$ 、第1分散補償ファイバの2次分散値を $S_{1stDCF}$ 、第2分散補償ファイバの2次分散値を $S_{2ndDCF}$ 、光ファイバ伝送路1の1次分散値を $D_{Trans}$ 、第1、第2の分散補償ファイバの1次分散値を $D_{1stDCF}$ 、 $D_{2ndDCF}$ 、波長 $\lambda_1$ での残留分散値を $D_1$ 、波長 $\lambda_2$ での残留分散値を $D_2$ 、波長 $\lambda_1$ と波長 $\lambda_2$ との差分の波長帯域を $B_{WDM}$ 、全長を $L_{TOTAL}$ として、  
 $L_{Trans} + L_{1stDCF} + L_{2ndDCF} = L_{TOTAL}$

$(D_{Trans} \times L_{Trans}) + (D_{1stDCF} \times L_{1stDCF}) + (D_{2ndDCF} \times L_{2ndDCF}) = D_1$

$B_{WDM} [(S_{Trans} \times L_{Trans}) + (S_{1stDCF} \times L_{1stDCF}) + (S_{2ndDCF} \times L_{2ndDCF})] = D_2$

の条件を満足するように、第1、第2の分散補償ファイバの長さ $L_{1stDCF}$ 、 $L_{2ndDCF}$ と、1次分散値 $D_{1stDCF}$ 、 $D_{2ndDCF}$ と、2次分散値 $D_{1stDCF}$ 、 $D_{2ndDCF}$ とを設定するものである。

【0028】(5) 又光ファイバ伝送路1に分散して接続した光増幅器5間に、第1、第2の分散補償器3、4を接続する。

【0029】(6) 又分散値の符号が負の光ファイバ伝送路1と、複数の波長を多重化した光信号の前記光ファイバ伝送路1及び前記第1、第2の分散補償器3、4に

よる累積分散値が、正の符号とならないように、長さ及び分散値を設定する。

【0030】

【作用】

(1) 分散補償器2は、例えば、W型或いは四重クラッド型の光ファイバ構造の各種のパラメータを設定することにより、光ファイバ伝送路1の1次分散と逆符号の1次分散を有すると共に、2次分散と逆符号の2次分散を有する構成とすることが可能であり、光ファイバ伝送路1の累積分散値を各波長毎にほぼ零となるように補償することができる。

【0031】(2) 又分散補償器2を、第1の分散補償器3と第2の分散補償器4とにより構成し、第1の分散補償器3により、光ファイバ伝送路1の主として1次分散を補償し、第2の分散補償器4により、光ファイバ伝送路1の主として2次分散を補償し、広帯域にわたり光ファイバ伝送路1の分散を補償する。

【0032】(3) 又波長 $\lambda_1$ に於ける残留分散値 $D_1$ と波長 $\lambda_2$ に於ける残留分散値 $D_2$ とについて、伝送路累積分散値と第1分散補償器の累積分散値と第2分散補償器の累積分散値との和が $D_1$ となり、又伝送路の2次分散値と伝送路長との積と、第1分散補償器の2次分散と、第2分散補償器の2次分散との和が、 $D_2 \div (\lambda_1 - \lambda_2)$ となるように、第1、第2の分散補償器の累積分散値と2次分散値とを設定する。この場合、 $D_1 = D_2 = 0$ の条件とすることにより、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 及びその中間の波長に於ける光ファイバ伝送路の累積分散値をほぼ100%補償することができる。

【0033】(4) 又第1、第2分散補償器3、4を光ファイバによって構成した場合、1次分散値と2次分散値及びそれらの符号と、長さを選定することにより、光ファイバ伝送路1の累積分散値を波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 間の帯域に於いて零となるように補償することができる。

【0034】(5) 又光増幅器5により、第1、第2の分散補償器3、4による損失並びに光ファイバ伝送路1による損失を補償するように、光信号を増幅する。

【0035】(6) 又分散値の符号を負とした光ファイバ伝送路1により、正常分散領域で光信号を伝送し、第1、第2の分散補償器3、4によって累積分散値を補償すると共に、その累積分散値が正の符号とならないように、即ち、正常分散領域で光信号を伝送する。

【0036】

【実施例】図1は本発明の実施例の説明図であり、1は光ファイバ伝送路、2は分散補償器、3、4は第1、第2の分散補償器、5は光増幅器、6は送信部、7は受信部である。この光増幅器5は、前述のように、エルビウム添加光ファイバ増幅器とすることができる。又光ファイバ伝送路1は、例えば、DSFとし、第1、第2の分散補償器3、4はSMFとすることができる。

【0037】伝送距離が例えば9000km程度の光伝

送システムに於いて、DSFを光ファイバ伝送路1とする場合、信号光と光増幅器5で発生する自然放光雑音との四光波混合による伝送特性の劣化を抑圧する為に、正常分散領域（分散値が負）で伝送することが望ましいものであり、このことは、前述の文献(2)に示されている。特に波長多重伝送を行う場合は、信号間同志の四光波混合の影響を回避する為に、分散値を $-1 \sim -2 \text{ ps/nm/km}$ 程度の大きい値に設定することが必要である。このことについて、DSFを光伝送路とする場合、信号光と光増幅器で発生する自然放光雑音との四光波混合の影響を回避する為に、分散値を $-1 \sim -2 \text{ ps/nm/km}$ 程度の値に設定することが必要であることが提案されている（例えば、文献(4) R. W. Tkach et al. ECOC'94 PD, p45-49, 1994, 参照）。

【0038】従って、DSFを用いた光ファイバ伝送路1の分散を補償する為には、分散の符号が正で絶対値の大きい分散補償器2が必要となる。この分散補償器2を光ファイバにより構成した場合、SMFを用いることができる。このSMFは低損失で比較的安価であり、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯では $+18 \text{ ps/nm/km}$ 程度の大きさの1次分散値を有するものである。従って、光ファイバ伝送路1の1次分散値を $-2 \text{ ps/nm/km}$ とすると、SMFはこの10倍程度の分散値を有するから、伝送距離の $1/10$ 程度の長さを分散補償器として付加するか、又伝送路の一部として敷設することにより、光ファイバ伝送路1の1次分散値を補償することができる。この場合、前述のように9000km程度の伝送距離の場合、

$$(\text{DSF伝送路長} + \text{SMF長} + \text{第2分散補償ファイバ長}) = 9000 \text{ km} \quad \dots (1)$$

$$(\text{DSF分散値} \times \text{DSF伝送路長}) + (\text{SMF分散値} \times \text{SMF長}) + (\text{2次分散補償ファイバの分散値} \times \text{第2分散補償ファイバ長}) = 0 \quad \dots (2)$$

$$(\text{DSF分散スロープ} \times \text{DSF伝送路長}) + (\text{SMF分散スロープ} \times \text{SMF長}) + (\text{第2分散補償ファイバの分散スロープ} \times \text{第2分散補償ファイバ長}) = 0 \quad \dots (3)$$

の条件を満足させるものである。

【0042】前記(1)式は伝送路長に対する条件、(2)式は1次分散補償に対する条件、(3)式は2次分散補償に対する条件を示す。このうち、DSFの分散値と分散スロープと、SMFの分散スロープとは既知であるから、第2分散補償ファイバの分散値と分散スロー

$$L_{\text{Trans}} + L_{1\text{stDCF}} + L_{2\text{ndDCF}} = L_{\text{TOTAL}} \quad \dots (4)$$

$$(D_{\text{Trans}} \times L_{\text{Trans}}) + (D_{1\text{stDCF}} \times L_{1\text{stDCF}}) + (D_{2\text{ndDCF}} \times L_{2\text{ndDCF}}) = 0 \quad \dots (5)$$

$$B_{\text{WDM}} [(S_{\text{Trans}} \times L_{\text{Trans}}) + (S_{1\text{stDCF}} \times L_{1\text{stDCF}}) + (S_{2\text{ndDCF}} \times L_{2\text{ndDCF}})] = 0 \quad \dots (6)$$

【0044】但し、第1、第2の分散補償ファイバの長さを $L_{1\text{stDCF}}$ 、 $L_{2\text{ndDCF}}$ 、光ファイバ伝送路1の長さを $L_{\text{Trans}}$ 、この光ファイバ伝送路1の2次分散値を $S_{\text{Trans}}$ 、第1分散補償ファイバの2次分散値を

合、約1000kmをSMFに置き換えて、残りの約8000kmを光ファイバ伝送路1とすれば良いことになる。

【0039】なお、分散値の符号が正で絶対値が大きい光ファイバを使用すれば、原理上は分散補償ファイバの長さを短縮できるが、光ファイバの材料である石英の有する分散特性と導波路構造に起因する分散特性とを考慮すると、分散値の絶対値を大きくするには限度がある。又分散値を大きくすると、シングルモードで伝播しなくなる問題が生じる。

【0040】又光ファイバ伝送路1としてのDSFと、分散補償器としてのSMFとは、通常は2次分散値（以下分散スロープと2次分散値とを同一の意味に使用し、単に分散値とした場合は1次分散値を示す）は、 $0.06 \sim 0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度の値を有するものである。従って、2次分散補償の為に分散補償器は、光ファイバ伝送路1としてのDSFの2次分散と符号が逆であると共に、絶対値の大きい特性を有する必要がある。又その場合の1次分散値の符号は、1次分散補償を補助することからみて、正の符号であることが望ましい。

【0041】前述のように、DSFを光ファイバ伝送路1とし、9000kmの伝送距離の場合に於ける1次分散と2次分散とを100%補償する為には、第1、第2の分散補償器3、4を構成する第1分散補償ファイバと第2分散補償ファイバと、それらの分散値及び分散スロープにより、

プとを定めると、(1)～(3)式からDSF伝送路長と、第1分散補償ファイバ長即ちSMF伝送路長と、第2分散補償ファイバ長とを求めることができる。

【0043】分散補償器2を光ファイバにより構成した場合の一般式は、次のように表される。

$S_{1\text{stDCF}}$ 、第2分散補償ファイバの2次分散値を $S_{2\text{ndDCF}}$ 、光ファイバ伝送路1の1次分散値を $D_{\text{Trans}}$ 、第1、第2の分散補償ファイバの1次分散値を $D_{1\text{stDCF}}$ 、 $D_{2\text{ndDCF}}$ 、波長 $\lambda_1$ での残留分散値を $D_1$ 、

波長 $\lambda_2$ での残留分散値を $D_2$ 、波長 $\lambda_1$ と波長 $\lambda_2$ との差分の波長帯域を $B_{WDM}$ 、全長を $L_{TOTAL}$ とした場合を示す。

【0045】設計波長を $\lambda_1$ とすると、波長帯域 $B_{WDM}$ だけ離れた波長 $\lambda_2$ に於ける残留分散値 $D_2$ と、設計波長 $\lambda_1$ に於ける残留分散値 $D_1$ とを零として、前述の(4)～(6)式からなる連立方程式を解くことにより、伝送路長 $L_{Trans}$ と、第1分散補償ファイバ長 $L_{1stDCF}$ と、第2分散補償ファイバ長 $L_{2ndDCF}$ とを求めることができる。但し、送信部6に於ける変調器で生じる

$$\begin{aligned} & (\text{設計波長での伝送路累積分散値}) + (\text{設計波長での第1分散補償器の累積分散値}) + (\text{設計波長での第2分散補償器の累積分散値}) \\ & = D_1 \text{ (波長}\lambda_1\text{の残留分散値)} \end{aligned} \quad \dots (7)$$

$$\begin{aligned} & (\text{伝送路の2次分散値} \times \text{伝送路長}) + (\text{第1分散補償器の2次分散値}) \\ & + (\text{第2分散補償器の2次分散値}) \end{aligned}$$

$$= D_2 \text{ (波長}\lambda_2\text{の残留分散値)} / (\lambda_1 - \lambda_2) \quad \dots (8)$$

【0047】波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ は、波長多重信号の帯域内若しくは帯域近傍の波長であり、二つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ に対する所望の残留分散値 $D_1$ 、 $D_2$ と、伝送路の累積分散値と分散スロープ(2次分散値)とが与えられ、第1、第2の分散補償器3、4の分散スロープを仮定すると、第1、第2の分散補償器3、4に必要な累積分散値を求めることができる。そして、累積分散値を適当な中継間隔毎に配分して、最適な累積分散値となる伝送距離毎に補償することになる。

【0048】図2は本発明の実施例の分散特性説明図であり、光ファイバ伝送路1を分散シフトファイバDSFにより構成し、第1分散補償器3をシングルモードファイバSMFにより構成し、第2分散補償器4を分散補償ファイバDCFにより構成した場合に於いて、DSF長とSMF長とDCF長とを縦軸[km]に、又DCFの2次分散値[ps/nm<sup>2</sup>/km]を横軸として示す。

【0049】又DSFの分散値 $D = -2 \text{ ps/nm/km}$ 、分散スロープ $= 0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、SMFの分散値 $D = +18 \text{ ps/nm/km}$ 、分散スロープ $= 0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、DCFの分散値 $D = +1 \text{ ps/nm/km}$ とした場合に、DCFの分散スロープ(2次分散値)を $-0.5 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度の値とすると、DSF長7045km、SMF長715km、DCF長1240kmとすることによって、1次分散と2次分散とを補償することができる。又前述のように、累積分散値が例えば $-500 \text{ ps/nm}$ 程度となるような数100km毎に分割して前述の分散補償を行えば良いことになる。

【0050】図3は本発明の実施例の分散補償説明図であり、伝送距離5000kmの光伝送システムに於いて、1000km間隔で1次分散及び2次分散の補償を行った場合を示す。又1区間のDSF長は795.6km、1次分散値は $-2 \text{ ps/nm/km}$ 、2次分散値は $+0.07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、1次分散補償ファイバ

ブリチャープ(強度変調と同時に発生する位相変調成分)の大きさや、非線形効果による波形チャープの大きさ及び受信部7の帯域等によって、残留分散値 $D_1$ 、 $D_2$ は零でない方が良い場合もある。その場合は、これらのパラメータに依存して前述の $D_1$ 、 $D_2$ が最適値に選定される。

【0046】又分散補償器2としては、光ファイバを用いて構成する以外に、各種の構成を適用できるものであり、その場合の一般化した式を下記に示す。

(第1分散補償器)としてのSMFの長さは81.6km、1次分散値は $+18 \text{ ps/nm/km}$ 、2次分散値は $+0.07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、2次分散補償ファイバ(第2分散補償器)の長さは122.8km、1次分散値は $+1.0 \text{ ps/nm/km}$ 、2次分散値は $-0.5 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ とした。

【0051】設計波長( $\Delta\lambda = 0 \text{ nm}$ )では、点線で示すように、正確に分散補償が行われることになり、又設計波長( $\Delta\lambda = 0 \text{ nm}$ )から5nm短い波長側に離れた波長( $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$ )及び設計波長( $\Delta\lambda = 0 \text{ nm}$ )から5nm長い波長側に離れた波長( $\Delta\lambda = -5 \text{ nm}$ )でも、実線で示すように、1000km毎に正確に分散補償が行われた。即ち、1次分散と2次分散とを同時に補償することにより、広い波長帯域にわたり分散補償を行うことができる。

【0052】又信号光と光増幅器による自然放出光雑音との間の四光波混合によって伝送特性が劣化する場合があるが、この伝送特性の劣化を軽減させる為に、総ての信号波長に対して伝送路1及び第1、第2の分散補償器3、4の累積分散値を負に設定することが望ましい。この場合、設計波長( $\Delta\lambda = 0 \text{ nm}$ )から短い波長側で使用する事が望ましい。

【0053】図4は本発明の実施例の波長多重光伝送システムの説明図であり、陸上伝送に適用した場合を示し、11<sub>1</sub>～11<sub>n</sub>は電光変換器(E/O)、12は合波器、13は光ファイバ伝送路を構成する分散シフトファイバ(DSF)、14は光中継器、15はブリアンプ、16はエルビウム添加光ファイバ増幅器等の光増幅器、17は第1分散補償器を構成するシングルモードファイバ(SMF)、18は第2分散補償器を構成する分散補償ファイバ(DCF)、19は合波器、20<sub>1</sub>～20<sub>n</sub>は光電変換器(O/E)を示す。

【0054】光中継器14の間隔は例えば80km程度を想定しており、光ファイバ伝送路13を構成するDS



Fの1次分散値を $-2\text{ps/nm/km}$ とし、第1、第2の分散補償器を構成するSMF17及びDCF18を、光中継器14及びプリアンプ15内に光増幅器16と共に内蔵させた場合を示す。従って、この構成の場合は、既設の光ファイバ伝送路の光中継器14内に第1、第2の分散補償器を設けることができる。又光中継器14又はプリアンプ15に於いて、前段の光増幅器16により増幅してSMF17、DCF18に入力して分散補償を行い、後段の光増幅器16により増幅して光ファイバ伝送路13のDSFに光信号を送出して、安定な分散補償を行わせることができる。

【0055】図5は本発明の実施例の波長多重光伝送システムに於ける2次分散値と長さとの関係説明図であり、図4に示すように、DSFを光ファイバ伝送路とし、その1次分散値を前述のように、 $-2\text{ps/nm/km}$ 、2次分散値（分散スロープ）を $0.08\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、又第1分散補償器としてのSMFの1次分散値を $+18\text{ps/nm/km}$ 、2次分散値（分散スロープ）を $0.08\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、又第2分散補償器としてのDCFの1次分散値を $+1\text{ps/nm/km}$ とした場合を示し、第2分散補償器としてのDCFの2次分散値（分散スロープ）が $-0.5\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 程度の値とすると、SMF長は8.1km、DCF長は14km程度の長さとするにより、1次分散と2次分散とを共に補償することができる。

【0056】図6は分散値の波長依存性の説明図であり、前述のように、光ファイバ伝送路としてのDSFの長さ $L=80\text{km}$ 、第1分散補償器としてのSMFの長さ $L=8.1\text{km}$ 、第2分散補償器としてのDCFの長さ $L=14.1\text{km}$ とし、DSFとSMFとの分散スロープ（2次分散値）がそれぞれ同一符号の $0.08\text{ps/nm}^2/\text{km}$ とし、DSFとSMFとが実線で示す特性を有する場合に、それらを組合せると、DSF+SMFの点線で示すように、波長の一点、例えば、 $1563\text{nm}$ 近傍に於いて分散値を零とすることができる。

【0057】しかし、他の波長に於いては分散値を零となるように補償することができないものである。そこで、第2分散補償器のDCFの分散スロープ（2次分散値）を、DSFとSMFとの符号と逆の分散スロープ（2次分散値）の例えば点線で示す特性の $-0.5\text{ps/nm}^2/\text{km}$ とする。それによって、DSF+SMF+DCFの一点鎖線で示すように、総ての波長帯域にわたって分散値を零とすることができる。

【0058】前述の各実施例に於いては、光ファイバ伝送路の分散を100%補償することを前提として説明しているが、波長多重に於ける波長数、送信部に於ける波長チャープ、光ファイバ中の非線形効果による波長チャープ、受信部の特性等に応じて、最適な分散補償量が異なることがある（例えば、文献(7) G. Ishikawa et al. "10-Gb/s Repeater

less Transmission..." IEICE TRANS. ELECTRON, Vol. E78-C, No. 1, Jan. 参照）。即ち、前述の(5)～(8)式に於ける残留分散値 $D1$ 、 $D2$ を最適な値に決定する必要がある。

【0059】又前述のDCFのように、2次分散補償ファイバは、例えば、 $1550\text{nm}$ 帯で、SMFやDSFの2次分散と符号が逆で絶対値が大きい2次分散値とすることが望ましい。一般に、シングルモードで伝播する光ファイバの総分散は、材料分散と構造分散との和となるもので、このうちの材料分散は、光ファイバの材料である石英によってほぼ決まり、屈折率を制御するドーパントの種類や濃度には殆ど影響されないものである。これに対して、構造分散は、光ファイバの屈折率分布を変化させることにより、ある程度制御することができる。

【0060】従って、第2分散補償器として、例えば、W型又は四重クラッド型と称される光ファイバを適用することができる（W型又は四重クラッド型構造の光ファイバについては、例えば、文献(8) B. J. Ainslie et al. "A Review of Single-Mode Fibers with Modified Dispersion Characteristics" JOLT., Vol. LT-4, No. 8, p967-979, 1986, 参照）。

【0061】図7はW型構造の分散特性説明図であり、基準値に対する屈折率差 $\Delta n_1$ （0.006）及び $\Delta n_2$ （ $-0.008$ ）を一定とし、半径 $a_1$ 、 $a_2$ の比率をパラメータとして、波長 $[\mu\text{m}]$ と分散値 $[\text{ps/nm/km}]$ との関係を示す。例えば、 $a_2/a_1=1$ とすると、 $1.35\mu\text{m}$ （ $1350\text{nm}$ ）近傍に於いて分散値が零となり、分散スロープ（2次分散値）は負の小さい値となる。又 $a_2/a_1=1.91$ とすると、 $1550\text{nm}$ に於いて1次分散値がほぼ零で、分散スロープ（2次分散値）が大きな正の値の光ファイバが得られる。この時の分散スロープ（2次分散値）は、約 $-0.5\text{ps/nm}^2/\text{km}$ となる。

【0062】図8は四重クラッド型構造の分散特性説明図であり、半径 $a_1 \sim a_4$ の領域の基準値に対する屈折率差 $\Delta n_1 \sim \Delta n_4$ とについて、コアの半径 $a_1$ をパラメータとして、波長 $[\mu\text{m}]$ に対する分散値 $[\text{ps/nm/km}]$ を示す。この場合、コアの半径 $a_1$ を変化させた時に、 $1.3\mu\text{m}$ 帯で分散値が零となると共に、それより長波長側では、半径 $a_1$ を大きくするに従って、分散値が零となる波長が長くなる。そして、分散スロープ（2次分散値）が前述のDSFやSMFとは逆の符号となる。この場合の $1.5\mu\text{m}$ 帯域に於ける分散スロープ（2次分散値）は、約 $-0.25\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であった。

【0063】前述のように、光ファイバ伝送路としての例えばDSFの累積分散値を補償する1次分散値を有

し、且つ分散スロープ（２次分散値）が大きく且つ符号が逆のW型構造又は四重クラッド型構造の分散補償ファイバ等を、分散補償器として用いることにより、光ファイバ伝送路の１次分散及び２次分散を補償して、超長距離の波長多重伝送を可能とすることができる。その場合、前述のように、残留分散値 $D_1$ 、 $D_2$ を最適化するように、分散補償ファイバの１次分散値と２次分散値と長さとを選定することになる。

【0064】又前述のW型構造の光ファイバ及び四重クラッド型構造の光ファイバは、例えば、1300nm帯～1550nm帯の広い帯域にわたって分散値をほぼ零とする為に開発されたものであるが、損失が0.3～0.4dB/km程度の大きいことと、構造パラメータの変動により分散値が敏感に変化することとによって、同一条件で製造しても、分散値が大きく変動する可能性がある。

【0065】そこで、前述のように、光ファイバ伝送路の１次分散値及び２次分散値を、第１分散補償器により主として１次分散値を補償し、第２分散補償器により主として２次分散値を補償することにより、再現性の優れた分散補償を可能とするものである。その場合、１次分散値と２次分散値との大きい分散補償ファイバを用いることにより、相対的に分散補償ファイバの長さを短くすることができるから、損失の増加も僅かで済むことになる。又２次分散補償用の光ファイバは、分散スロープ（２次分散値）が大きいことが重要で、その１次分散値の絶対値は余り重要ではない。従って、１次分散補償用の光ファイバとは別個に設計、製造することにより、それぞれ所望の特性の分散補償ファイバを容易に実現できる。

【0066】図9は本発明の実施例の分散値と長さとの関係説明図であり、全長 $L_{TOTAL} = 9000$ kmの伝送路に於いて、光ファイバ伝送路として、１次分散値 $D = -2$ ps/nm/km、分散スロープ（２次分散値） $= 0.07$ ps/nm<sup>2</sup>/kmのDSFに対して、第１分散補償器として、１次分散値 $D = +18$ ps/nm/km、分散スロープ（２次分散値） $= 0.07$ ps/nm<sup>2</sup>/kmのSMGを用い、又第２分散補償器として、分散スロープ（２次分散値） $= -0.5$ ps/nm<sup>2</sup>/kmのDCFを用いて分散補償する場合、SMFとDCFとの長さを、DCFの１次分散値の関数として求めた結果を示す。

【0067】伝送路全体の分散値は、総分散量の大きいDSFとSMFとにより決定され、２次分散補償用のDCFの分散値の絶対値には殆ど影響しないことが判る。又２次分散補償用のDCFの分散値が製造上大きくばらついても、その分散値は、１次分散補償用のSMFの分散値を調節することにより、容易に所望の値に調整する

ことができる。

【0068】本発明は前述の各実施例にのみ限定されるものではなく、例えば、光ファイバ伝送路の２次分散が伝送容量や伝送距離を制限している時分割多重伝送方式や、位相共役を用いた方式等に対しても適用できるものである。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、光ファイバ伝送路１に於いて生じる１次分散及び２次分散を分散補償器２によって補償することにより、広帯域にわたる波長分散を補償して、高速、大容量の光通信を可能とすることができる利点がある。又分散補償器２を、光ファイバ伝送路の１次分散を主として補償する第１分散補償器３と、光ファイバ伝送路１の２次分散を主として補償する第２分散補償器４とを用いることにより、第１、第２の分散補償器３、４の製造が比較的容易な光ファイバによって構成することができる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施例の説明図である。

【図２】本発明の実施例の分散特性説明図である。

【図３】本発明の実施例の分散補償説明図である。

【図４】本発明の実施例の波長多重光伝送システムの説明図である。

【図５】本発明の実施例の波長多重光伝送システムに於ける２次分散値と長さとの関係説明図である。

【図６】分散値の波長依存性の説明図である。

【図７】W型構造の分散特性説明図である。

【図８】四重クラッド型構造の分散特性説明図である。

【図９】本発明の実施例の分散値と長さとの関係説明図である。

【図１０】従来例の波長分散管理の説明図である。

【図１１】伝送距離と分散補償器間隔との関係説明図である。

【図１２】分散特性説明図である。

【図１３】従来例の分散補償説明図である。

【図１４】従来例の分散補償手段の説明図である。

【図１５】従来例の分散補償手段の説明図である。

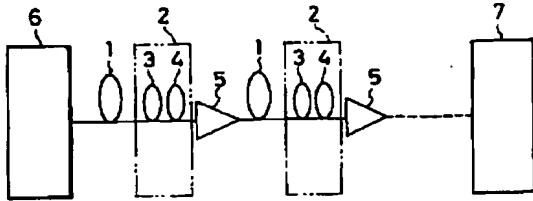
【図１６】従来例の過剰補償による分散補償説明図である。

【符号の説明】

- １ 光ファイバ伝送路
- ２ 分散補償器
- ３ 第１分散補償器
- ４ 第２分散補償器
- ５ 光増幅器
- ６ 送信部
- ７ 受信部

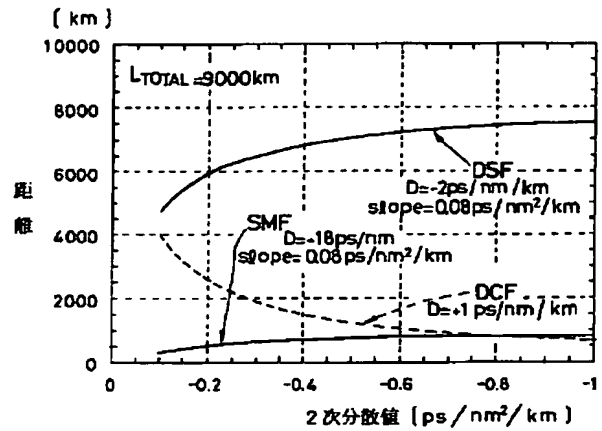
【図 1】

本発明の実施例の説明図



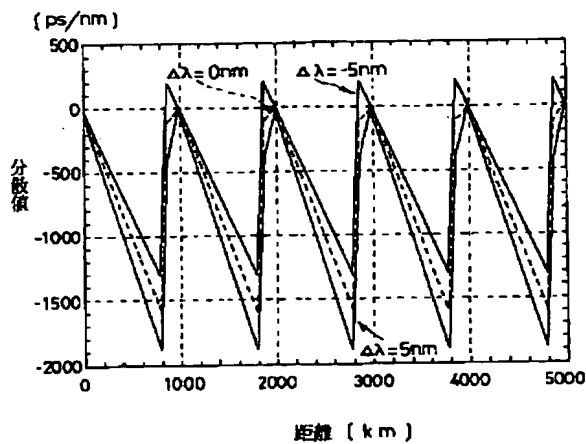
【図 2】

本発明の実施例の分散特性説明図



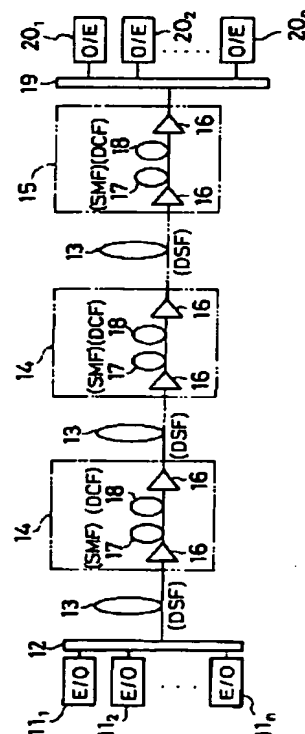
【図 3】

本発明の実施例の分散補償説明図



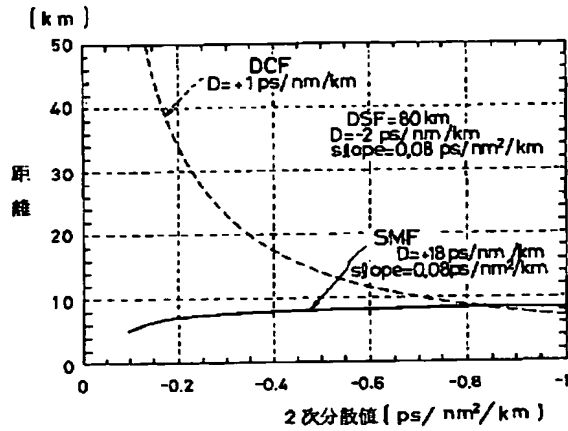
【図 4】

本発明の実施例の波長多重光伝送システムの説明図



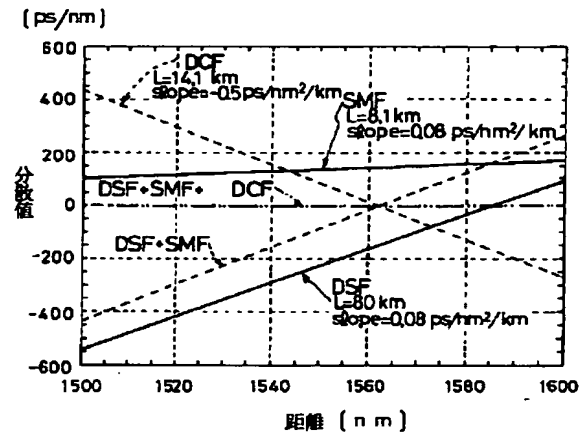
【図5】

本発明の実施例の波長多重光伝送システムに於ける  
2次分散値と長さとの関係説明図



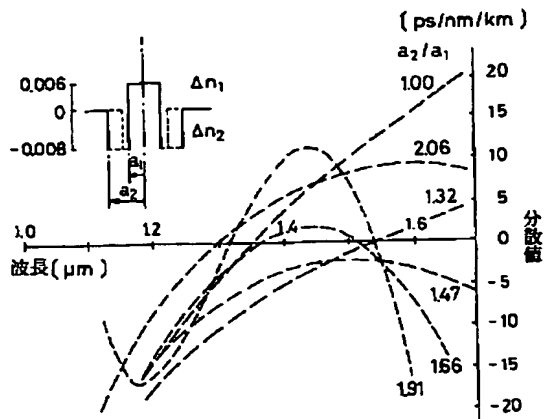
【図6】

分散値の波長依存性の説明図



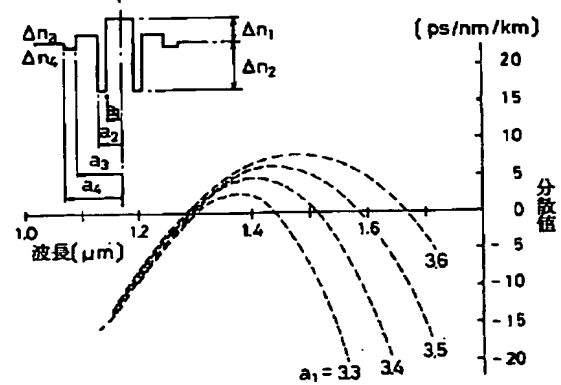
【図7】

W型構造の分散特性説明図



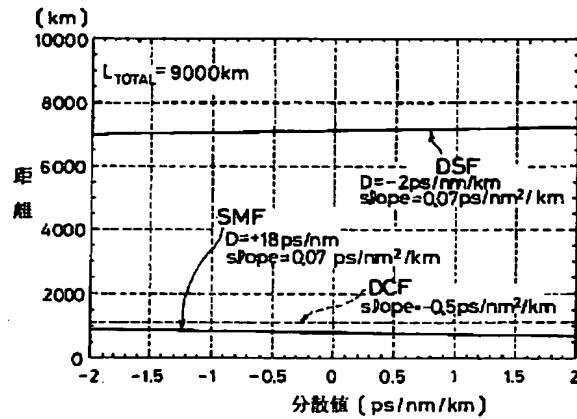
【図8】

四重クラッド型構造の分散特性説明図



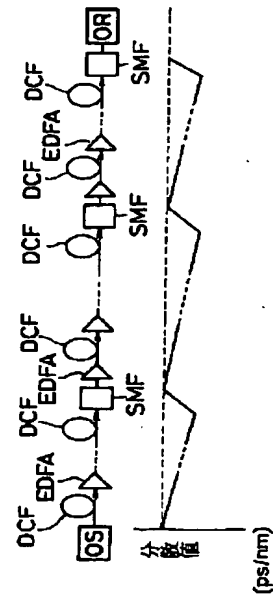
【図 9】

本発明の実施例の分散値と長さとの関係説明図



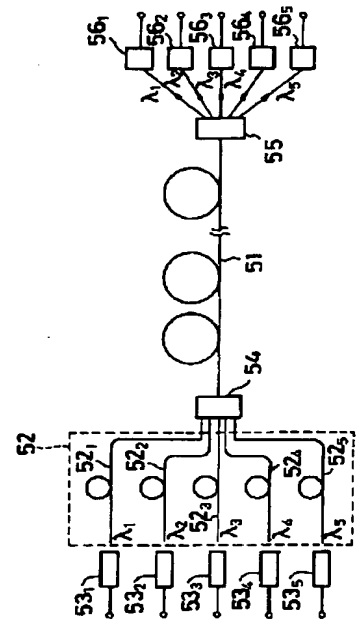
【図 10】

従来例の波長分散管理の説明図



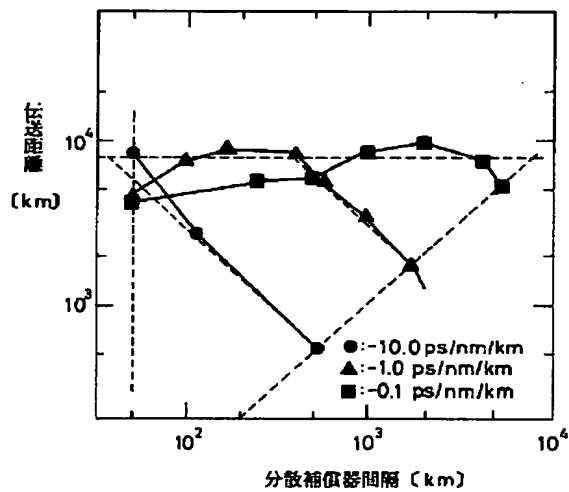
【図 14】

従来例の分散補償手段の説明図



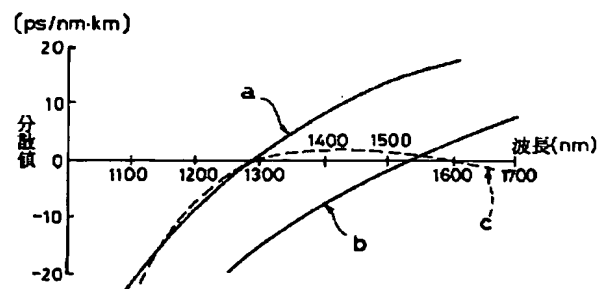
【図 11】

伝送距離と分散補償器間隔との関係説明図



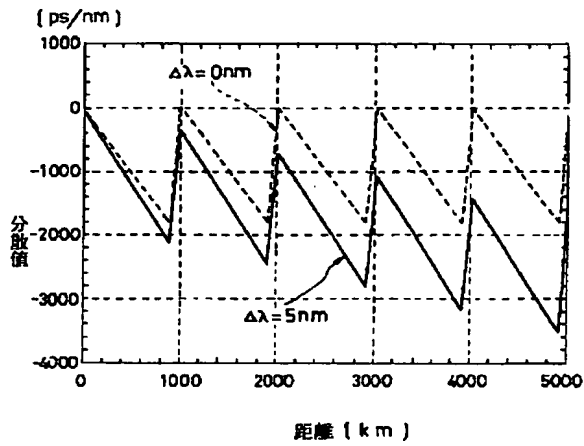
【図 12】

分散特性説明図



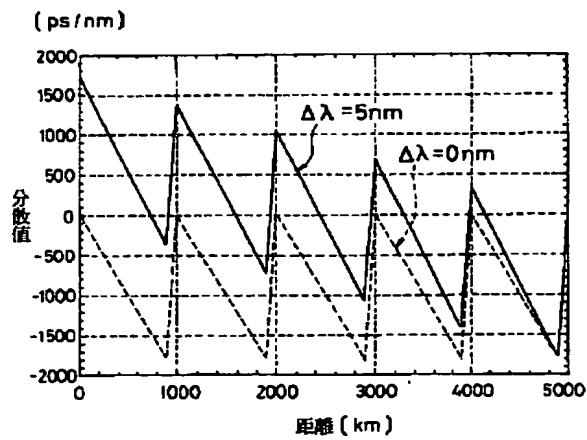
【図13】

従来例の分散補償説明図



【図16】

従来例の過剰補償による分散補償説明図



【図15】

従来例の分散補償手段の説明図

